昆虫学报 Acta Entomologica Sinica, October 2003, 46 (5): 609 - 616 ISSN 0454-6296

四川蜂桶寨国家自然保护区地表甲虫物种多样性

于晓东，罗天宏，周红章*
（中国科学院动物研究所，北京 100080）

摘要：在四川雅安蜂桶寨国家自然保护区（102°48′~103°18′E，30°42′~30°54′N）及其周边地区，就森林片段化和生态恢复程度的不同，选择4个代表地点，即位于保护区核心地带、以阔叶混交林为主的蜂桶寨天然林区（海拔1 680~2 080 m），受到经济开发干扰但植被类型丰富的锅巴岩天然林区（海拔2 280~3 340 m）、以人工针叶林进行生态恢复的蚂蝗沟人工林区（海拔2 430~2 525 m），以及森林高度片段化的双石镇农耕区（海拔870~1 165 m），共设26块样地，以巴氏罐诱法为主研究地表甲虫的群落组成和多样性变化。本研究共采集甲虫标本2 338号，隐翅虫数量最多，占39.6%；步甲次之，占29.3%，拟步甲、象甲和叶甲的数量也各在5%以上，它们共同构成该地区地表甲虫的优势类群。锅巴岩物种的个体数量和丰富度（S）以及多样性指数（H'）较高；蚂蝗沟均匀度指数（J）较高，丰富度较低；蜂桶寨天然林区个体数量较少；双石镇农耕区的多样性和均匀度指数较低。锅巴岩、蜂桶寨和蚂蝗沟间物种分布都有一定程度的相似性，但后两者相似性程度更高，双石镇物种分布与其他3个地点差异较大，这反映了不同地点间的生境异质性和森林植被片段化程度的差异。整个鞘翅目、隐翅虫科和步甲科的个体数量分布在针叶林内较多，在阔叶林内较少；拟步甲科的数量分布在高山灌丛内较多；叶甲科的数量分布在针叶林较多；象甲科除了竹林外，在其他植被内的数量均较多。在总体趋势上，随着海拔的升高，在蜂桶寨和锅巴岩两个邻近的天然林地点，整个鞘翅目以及优势甲虫类群的种类和个体数量也逐渐增多。比较蜂桶寨林区内的个体数量、丰富度和多样性指数，北坡均大于南坡。以上结果表明，物种多样性与海拔、坡向以及生境类型密切相关，森林片段化和生态恢复对物种多样性有显著的影响。因此，在改善森林片段化进行生态恢复时，采取合理措施，增加生境异质性，有助于提高该地区地表甲虫物种多样性。

关键词：地表甲虫；植被；森林片段化；物种多样性；蜂桶寨国家自然保护区
中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296（2003）05-0609-08

Species diversity of litter-layer beetles in the Fengtongzhai National Nature Reserve, Sichuan Province

YU Xiao-Dong, LUO Tian-Hong, ZHOU Hong-Zhang* (Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The litter-layer beetle species diversity in Fengtongzhai National Nature Reserve (102°48′ - 103°18′ E, 30°42′ - 30°54′ N) and adjacent areas, Sichuan, Southwest China was surveyed. Four local sites were selected to represent the degree of forest fragmentation and coverage of different vegetation. Fengtongzhai (elevation 1 680 - 2 080 m) is located in the core of the Nature Reserve and is covered with well-protected native, mixed, broad-leaved forests. Guobayan (elevation 2 280 - 3 340 m) is a site covered with various native vegetation types, but disturbed by intensive human activities. Mahuanggou (elevation 2 430 - 2 525 m) represents a site with a well-developed secondary coniferous plantation. Shuangshizhen (elevation 870 - 1 165 m) is covered with fragmented plantations surrounding by farmlands. Using mainly pitfall traps, we built up 26 plots to investigate how the species diversity of litter-layer beetles was influenced by factors such as forest fragmentation, elevation, slope aspect and habitat differentiation etc. Field collections were conducted from June 29 to July 5, 2001. During field research, a total of 2 338 beetle specimens were captured, of which the family Staphylinidae comprised 39.6%, Carabidae 29.3%, and Tenebrionidae, Curculionidae and Chrysomelidae each more than 5% of the total. These five families can be considered as common in the study area. Of the four local

基金项目：国家重点基础研究发展规划项目（G2000046800）；国家自然科学基金资助项目（39970090）；中国科学院知识创新工程领域前沿项目（KSCX3-IOZ-01）；国家基础科学人才培养基金项目（NSFC-J0030092）
作者简介：于晓东，男，1973年生，助理研究员，主要从事昆虫学、动物生态学和生物多样性研究，E-mail：yuxd@panda.ioz.ac.cn
*通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zhouhz@panda.ioz.ac.cn
收稿日期 Received: 2002-12-16；接受日期 Accepted: 2003-04-02

sites selected, Guobayan had the highest individual numbers, richness (*S*) and diversity (*H′*). Mahuanggou had the highest evenness (*J*) and the lowest value of richness. Shuangshizhen had the lowest values of diversity and evenness. Fengtongzhai was much more homogenous in habitat variations and thus did not show any extremes of diversity, evenness or richness. The beetle community in the fragmented forest of Shuangshizhen was very different from those at the other three sites. The community at Mahuanggou was more similar to that in Fengtongzhai than Guobayan. Four main types of vegetation were compared. Coleoptera, Staphylinidae and Carabidae were found to be more abundant in coniferous forest than in mixed broad-leaved forest. Tenebrionidae preferred shrub-land, and Chrysomelidae preferred coniferous forest. Curculionidae had the fewest individuals in bamboo. At Fengtongzhai and Guobayan, species and individuals of Coleoptera and dominant beetle families exhibited an overall tendency of increasing with elevation. In ten plots at Fengtongzhai, the north-facing plots were found to have the greater numbers of individual beetles, richness and diversity than the south-facing ones. Based on these results, we conclude that forest fragmentation, elevation, slope aspect, and vegetation variation (habitat types) influence the species diversity of the litter-layer beetle communities in Fengtongzhai National Nature Reserve. Therefore, for forest protection and restoration in this region, efforts to maintain or restore habitat heterogeneity will help to maintain or increase the species diversity of litter-layer beetles.

Key words: litter-layer beetles; vegetation; forest fragmentation; species diversity; nature reserve

森林片段化严重地威胁到地球上的物种多样性，是目前困扰人类的重要议题，已在世界范围内得到极大的重视，吸引了许多研究者的关注（Kareiva, 1987; Quinn and Harrison, 1988; Klein, 1989; Laurance, 1994; Kinnunen *et al*., 1996; Laurance *et al*., 1998; Davies and Margules, 1998; Murrell and Law, 2000）。由于无脊椎动物和微生物在生态系统中扮演了重要的角色，是构成森林物种多样性的重要组成成分（Staddon *et al*., 1996），所以研究森林片段化对这些类群物种多样性的影响，能为人类如何进行森林管理和生态恢复，从而改善目前状况提供良好的思路（Lautenschlager, 1993; Didham *et al*., 1996; Thomas *et al*., 1998; Duchesne *et al*., 1999）。我国亚热带地区长期受到人类活动的干扰破坏，尤其在上个世纪中叶，为了解决人口激增带来的粮食问题，森林被大面积地砍伐开垦为耕地，片段化日益严重。直到上世纪末，人们才意识到问题的严重性，开始退耕还林，以种植人工次生林进行生态恢复。由于我国森林片段化问题的研究起步较晚，森林片段化和生态恢复与无脊椎动物生物多样性之间关系的研究十分匮乏，不利于对正在进行中的森林恢复工作提供合理化建议。

此外，物种多样性时空格局是生物多样性研究的重要内容，其研究核心是物种的数量变化和物种的生物多样性程度，在不同尺度范围内探讨物种多样性的时空变化规律（周红章等，2000a）。我国的亚热带地区有独特的自然地理特征和生物区系演化历史，虽然经过干扰破坏，但在自然保护区内仍拥有丰富的物种资源，能在一定程度上反映我国物种区系演化的自然格局。近年来，我国学者以土壤动物为对象，开展了一系列研究（尹文英，1992, 1998）。由于土壤动物的种类多，分布广，很难通过少量野外实验完成全面的系统性研究，目前研究的重点仍放在区系调查与分类上。不同地区间由于没有采用统一方法，难以进行量化比较，制约了土壤动物物种多样性格局研究的发展。近年来，我们以地表甲虫为对象，采用统一的研究方法，在我国一些地区持续开展了甲虫乃至整个昆虫大类的物种多样性研究（周红章等，2000b；于晓东等，2001, 2002）。

蜂桶寨国家自然保护区位于四川西部，横断山区的边缘，属于典型的亚热带森林植被。由于海拔变化较大，植被呈现明显的垂直分带。在保护区及周边地区，人为干扰程度差异较大，环境呈现局部片断化，环境异质性程度较高，由于有这些特点，该地区是开展动物分布与地带性植被关系、森林片段化与物种多样性变化关系等研究的理想地区。此外，在该地区生活着许多珍贵的昆虫物种，其中大卫两栖甲 *Amphizoa davidi* Lucas 是国家Ⅱ级保护物种，表明该地区在昆虫物种多样性保护中具有重要地位。以前在该地区曾进行过昆虫调查，报道了新种或新纪录（Imura *et al*., 1998）；然而，在甲虫的区系和物种多样性时空格局的分布规律等方面还没有进行过系统深入的研究。

本文选择蜂桶寨保护区及周围地区为研究地点，以昆虫类群中种类最丰富的鞘翅目为研究对

象，分析该地区地表甲虫分布和物种多样性与各种潜在因素之间的关系，以揭示森林片段化对生态系统内地表甲虫物种多样性的影响，并探讨该地区物种多样性的基本状况和变化规律。

1 研究样地与方法

1.1 研究地点

研究地区位于四川蜂桶寨国家自然保护区（102°48′～103°18′ E，30°42′～30°54′ N）及周围地区，行政隶属于雅安地区。鉴于森林片段化和生态恢复程度不同，我们选择了4个地点：（1）蜂桶寨林区（海拔1 680～2 080 m）：位于保护区核心地带，为保护完整的天然森林植被，但由于多方面因素影响，所选的研究区域内植被类型较单一，仅包括阔叶混交林一种植被类型，共设10块样地；（2）锅巴岩林区（海拔2 280～3 340 m）：位于保护区内，天然森林植被，但目前受到炸山采石矿进行经济开发所带来的人为干扰，研究区域内植被类型丰富，地带性植被更替明显，生境异质性强，设样地8块，包括高山灌丛、针叶林（冷杉林）、阔叶混交林和竹林4种植被类型；（3）蚂蝗沟林区（海拔2 430～2 525 m）：位于保护区周边，森林覆盖率较高，以人工次生林为主，种植油松和云杉等针叶林经济树种进行森林恢复，设样地5块，包括针叶林、阔叶混交林和竹林3种植被类型；（4）双石镇农耕区（海拔870～1 165 m）：位于保护区附近低海拔的芦山县境内，森林片段化严重，森林植被面积较小，大多位于山顶或崖边，被农田所包围，设样地3块，包括溪边灌丛、针阔混交林和针叶林3种植被类型。各样地面积均大于2 hm^2。

为了探讨甲虫物种多样性与海拔梯度和坡向的关系，我们对蜂桶寨和锅巴岩两地的样地设置做进一步处理。两地间的空间距离小于20 km，可视为同一山系，忽略距离对甲虫物种分布产生的影响。考虑到交通便利和植被类型的特点，蜂桶寨林区的研究区域设在海拔1 680～2 080 m之间，每隔100 m在南坡和北坡同时设置样地进行对照实验；锅巴岩的研究区域海拔为2 280～3 340 m，在山系北坡每隔200 m设置1块样地，在顶峰处（海拔3 340 m）设置2块样地（图1）。

双石镇溪边灌丛和混交林各有1块样地，相对较少，难以与其他生境进行系统比较，因此在讨论生境与数量分布关系时，暂不考虑这2块样地。

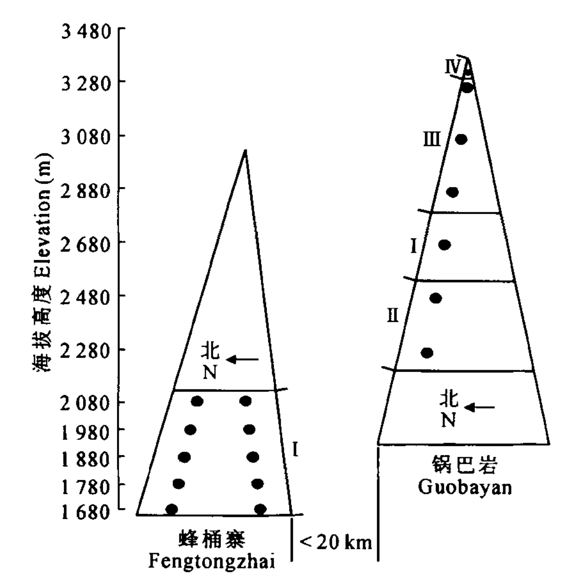


图1 蜂桶寨和锅巴岩研究样地的海拔梯度和植被类型

Fig. 1 Elevation and vegetation types of plots investigated at Fengtongzhai and Guobayan

Ⅰ. 阔叶混交林 Mixed broad-leaved forest; Ⅱ. 箭竹林 *Sinarundinaria* spp.; Ⅲ. 冷杉林 *Abies* spp.; Ⅳ. 高山杜鹃灌丛 *Rhododendron* spp.; ●采样点 Sampling site.

1.2 取样方法和标本鉴定

主要采用巴氏罐诱法，并结合网筛、扫网、肉诱等采集方法（Martin，1978；Baars，1979；Mühlenberg，1989），进行全面的标本采集与数据收集。群落物种数量变化及种群密度研究采用巴氏罐诱法完成（于晓东等，2001），每块样地内设诱杯50个，诱杯间距约1 m，诱杯放置时间约2～4天。由于本文不涉及甲虫物种的季节变化，取样尽量在短期内完成。我们取样时间在2001年6月29日至7月5日之间。标本初步鉴定主要依据专著（Brues *et al*.，1954；Freude *et al*.，1964），并对照中国科学院动物研究所标本馆馆藏定名标本，在有关专家帮助下完成鉴定。

1.3 数据处理与分析

进行数理统计比较的标本数量需要进行标准化处理，以样地内每100诱杯每天捕获的个体数量作为甲虫群落物种数量的统计数据。由于昆虫的分布形式大多是聚群分布（波松分布），因此我们进行分析时，采用平方根形式对数据进行标准化转换。

物种多样性分析采用Shannon-Wiener多样性指数，$H' = \sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i$，$P_i = n_i / N$，为第 i 种个体数占总个体数 N 的比率；均匀度分析采用Pielou指

数，$J = H'/lnS$；物种丰富度采用物种数（S）测度（马克平和刘玉明，1994）。

采用主成分分析（principal component analysis，PCA）在科的水平上对不同地点间地表甲虫物种组成和数量分布的相似性进行比较（Pielou，1984）。不同地点间物种多样性各项指数的比较，以及整个鞘翅目及优势甲虫类群的数量在不同生境内分布的比较，主要通过单因素方差分析（ANOVA）和最小显著差法（LSD）进行检验；蜂桶寨林区坡向间物种多样性各项指数的比较通过成对 t 检验来完成。对海拔以及优势类群的个体数量和丰富度进行对数化处理后，通过回归检验（regression）来判断它们之间的数量关系。以上的数据分析使用数理统计软件 SPSS（1997）完成。

2 研究结果

2.1 主要类群及数量

经过初步鉴定和数量统计，本次野外采集共获甲虫标本 2 338 号，以隐翅虫科数目最多，有标本 925 号，占 39.6%；步甲科次之，有标本 685 号，占 29.3%；这两个科为数量最丰富类群。此外，拟步甲科、象甲科和叶甲科的数量也各在 5% 以上，也是比较常见的甲虫类群。其他 14 科与尚未鉴定的其他甲虫合计占 11%，相对较少（表 1）。

表 1 四川蜂桶寨自然保护区不同样点地表甲虫的组成和数量

Table 1 Composition and number of the litter-layer beetles captured on different sites in the Fengtongzhai Nature Reserve, Sichuan Province

	双石镇 Shuangshizhen	蜂桶寨 Fengtongzhai	锅巴岩 Guobayan	蚂蝗沟 Mahuanggou	合计 Total	百分比%
隐翅虫科 Staphylinidae	33	214	495	183	925	39.6
步甲科 Carabidae	165	24	455	41	685	29.3
拟步甲科 Tenebrionidae	0	3	206	0	209	8.9
象甲科 Curculionidae	8	45	64	20	137	5.9
叶甲科 Chrysomelidae	21	36	56	5	118	5.1
金龟科 Scarabaeidae	13	5	9	6	33	1.4
蚁甲科 Pselaphidae	1	11	17	1	30	1.3
出尾蕈甲科 Scaphidiidae	5	7	4	0	16	< 1.0
叩甲科 Elateridae	1	8	2	1	12	< 1.0
花萤科 Cantharidae	0	0	8	1	9	< 1.0
小蠹科 Scolytidae	1	3	1	1	6	< 1.0
天牛科 Cerambycidae	1	1	2	0	4	< 1.0
伪叶甲科 Lagrridae	0	3	0	1	4	< 1.0
扁圆甲科 Sphaeritidae	0	0	4	0	4	< 1.0
红萤科 Lycidae	0	2	1	0	3	< 1.0
坚甲科 Colydiidae	0	0	1	1	2	< 1.0
花蚤科 Mordellidae	0	0	1	0	1	< 1.0
朽木甲科 Alleculidae	0	0	0	1	1	< 1.0
吉丁甲科 Buprestidae	0	1	0	0	1	< 1.0
其他甲虫 Other beetles	33	47	36	22	138	5.9
合计 Total	282	410	1 362	284	2 338	100

2.2 不同地点内物种多样性分布特点

2.2.1 物种多样性分析：所有甲虫的个体数量在样点间有极显著差异（$F = 5.19$，$P < 0.01$）。其中锅巴岩的甲虫数量较多，蜂桶寨和蚂蝗沟的数量较少，与前者有显著差异。物种丰富度在样点间也呈极显著差异（$F = 5.65$，$P < 0.01$），锅巴岩的

物种数显著多于其他 3 个地点。物种多样性指数和均匀度指数在 4 个样点之间没有显著差异（表 2）。

表 2　不同采样点物种多样性、均匀度、丰富度指数和个体数量比较

Table 2　Comparison of indices of species diversity, evenness, richness and number of individuals from four sample sites

地点 Location	多样性 Diversity (H')	均匀度 Evenness (J)	丰富度 Richness (S)	个体数量 Number of individuals (N)
双石镇 Shuangshizhen	2.23 ± 0.28	0.74 ± 0.12	23 ± 5 a	94 ± 53 ab
蜂桶寨 Fengtongzhai	2.67 ± 0.14	0.88 ± 0.04	22 ± 2 a	41 ± 7 a
锅巴岩 Guobayan	2.79 ± 0.14	0.78 ± 0.03	37 ± 4 b	170 ± 39 b
蚂蝗沟 Mahuanggou	2.66 ± 0.13	0.89 ± 0.04	21 ± 3 a	57 ± 18 a

数据后有不同字母表示差异显著（P < 0.05），后同。Means followed by the different letters are significantly different (P < 0.05). The same for the following tables and figures.

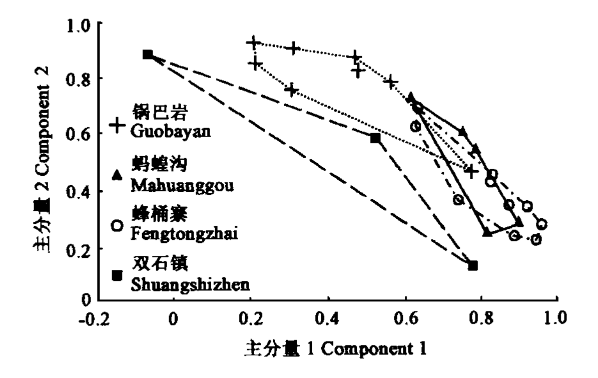


图 2　地表甲虫在不同样点的物种种类和数量分布排序

Fig. 2　Ordination plot (PCA) of the range of pitfall catches at investigated sites

2.2.2　物种种类和数量分布的排序：双石镇的物种组成和数量分布特点与其他 3 个地点差异较大，没有任何相似之处；锅巴岩与蜂桶寨和蚂蝗沟的分布区仅有小部分重叠，在整体上相似性程度较低；蜂桶寨和蚂蝗沟间的物种分布区相互重叠程度较高，有较高的相似性（图 2）。这一结果说明了 4 个地点间地表甲虫的物种组成和数量分布在科的水平上已经发生明显分化，反映出不同地点间的生境异质性和森林植被片段化程度的差异。

2.3　物种数量分布与生境类型的关系

所调查的地表甲虫在四种生境内的数量分布有显著差异（F = 3.49，P < 0.05），在针叶林内较多，阔叶林内较少。各优势类群的数量分布也有很大差异，其中拟步甲科在生境间的数量差异显著（F = 17.73，P < 0.01），在高山灌丛内的数量显著多于其他生境；隐翅虫科和步甲科的数量在针叶林内均较多，阔叶林内较少，两者间差异显著；象甲科和叶甲科的个体数量在生境间的差异不显著（图 3）。

2.4　物种种类和数量分布与海拔的关系

分析蜂桶寨和锅巴岩两个地点，物种数和个体数量的对数值与海拔高度之间的关系。发现随着海拔的升高，鞘翅目和优势甲虫类群的种类和数量基本上逐渐增多（图 4）。鞘翅目（种类：r^2 = 0.57，P < 0.01；数量：r^2 = 0.70，P < 0.01）以及象甲科（种类：r^2 = 0.57，P < 0.01；数量：r^2 = 0.53，P < 0.05）的种类和数量与海拔高度呈显著的线性关系（图 4A，B）；隐翅虫科（r^2 = 0.33，P < 0.05）、

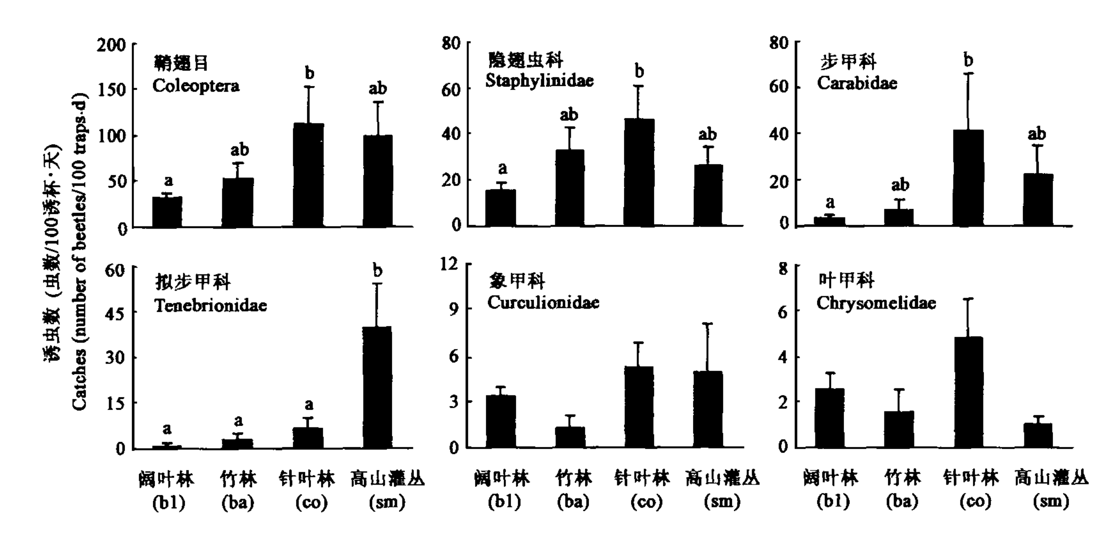


图 3　地表甲虫在不同生境内数量分布

Fig. 3　Abundance of litter-layer beetles in different habitats

bl: broad-leaved forest; ba: bamboo; co: coniferous forest; sm: shrubs in mountain.

步甲科（$r^2=0.55$，$P<0.05$）以及拟步甲科（$r^2=0.59$，$P<0.05$）的个体数量与海拔高度呈显著的线性关系（图4C, D, E）；叶甲科的种类和数量与海拔的回归关系不显著（图4F）。

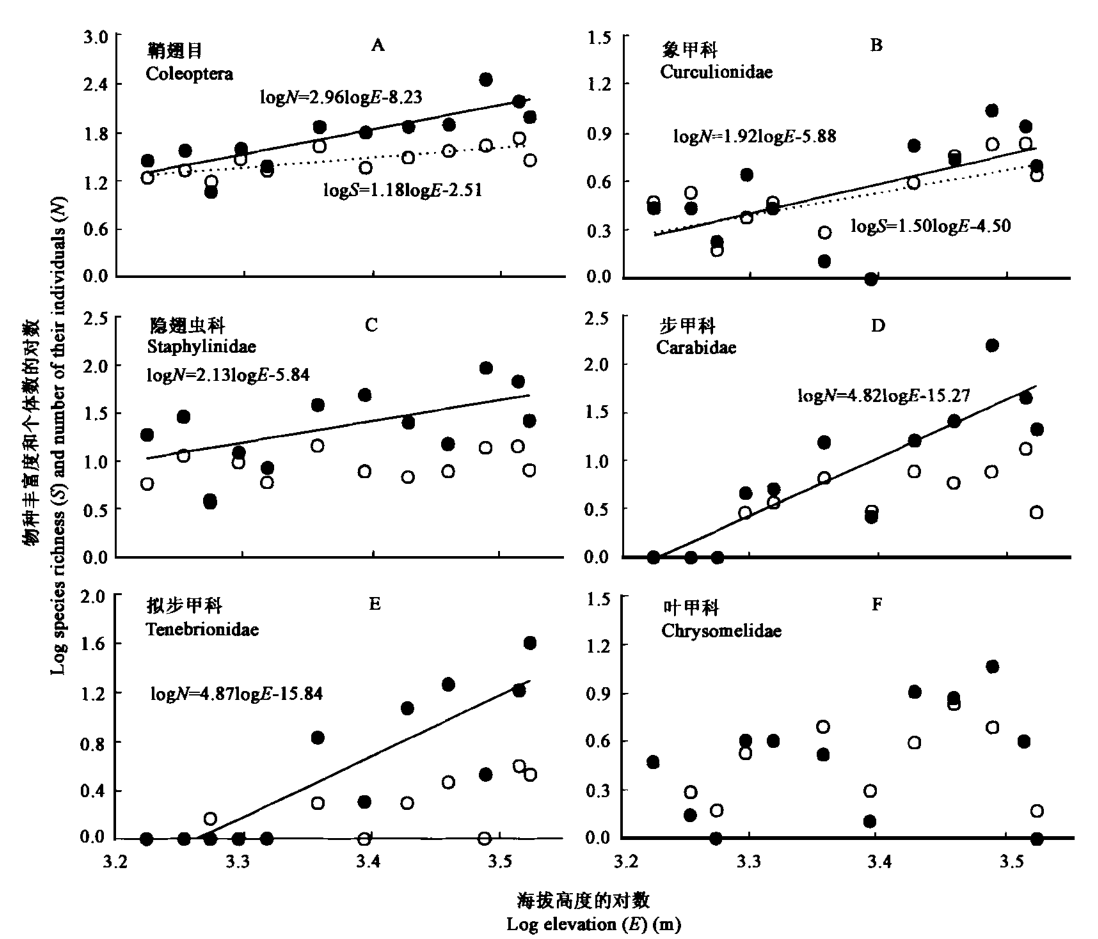


图4 蜂桶寨和锅巴岩地表甲虫种类和数量分布与海拔高度的关系

Fig. 4 Species richness (*S*) and number (*N*) of litter-layer beetles from Fengtongzhai and Guobayan in relation to elevation gradients

实心圆和空心圆分别表示个体数量和物种种类

Solid and open circles indicate individual numbers and species richness of beetles respectively.

2.5 物种多样性与坡向的关系

在蜂桶寨南北坡样地之间进行对比，北坡的个体数量和物种数（丰富度）比南坡多，多样性指数也高于南坡，而且个体数量的坡向间对比达到显著差异（$P<0.05$）；均匀度指数与其他指数的趋势相反，南坡高于北坡，但差异不显著（表3）。

表3 物种多样性指数、均匀度指数、丰富度指数和个体数量在不同坡向间的比较

Table 3 Indices of species diversity, evenness, richness and number of individuals on south and north facing slopes

坡向 Slope aspect	多样性 Diversity (H')	均匀度 Evenness (J)	丰富度 Richness (S)	个体数量 Number of individuals (N)
北坡 North	2.73 ± 0.19	0.84 ± 0.06	26 ± 3	55 ± 10 a
南坡 South	2.60 ± 0.22	0.92 ± 0.04	17 ± 3	27 ± 5 b

3 讨论

四川蜂桶寨国家自然保护区的地表甲虫物种组成及其数量分布与同属亚热带气候区的云南西北部比较相似（于晓东等，2001），反映了这两个距离较近的亚热带地区在物种组成和数量分布的一般规律。两个地区数量最丰富的类群同为隐翅虫科和步甲科，而且这两个类群的数量分布较接近，四川蜂桶寨保护区数量合计约占总数的69%，云南西北部地区为67%；对于其他常见类群来说，四川蜂桶寨保护区的类群组成为拟步甲科、象甲科和叶甲科，云南西北部地区为金龟科、象甲科和拟步甲科，略有差异，但从数量来看两地几乎相同，合计约占总数的20%（于晓东等，2001）。

从不同地点间物种多样性分析以及物种组成分析的结果看，森林片段化和生态恢复对物种多样性的影响十分明显。双石镇农耕区在物种组成上已经完全偏离了相邻的林区，物种的丰富度、多样性和均匀度程度均较低。这可能由于双石镇地区海拔较低，森林植被已经严重片段化，仅在少数地点有小片树林残存，而且农田环境单一化程度高，耕作活动使环境变化较大，因此不利于支持较多物种共存。锅巴岩林区海拔相对较高，虽然受到人工开矿的严重干扰，但植被类型比邻近的其他两个林区丰富，地带性更替明显，生境异质性程度高，因此目前所支持的物种仍较多，多样性程度也较高。蜂桶寨林区处在保护区核心地带，在所研究的中低海拔区间内，以阔叶混交林为主，植被类型相对单一，因此物种的多样性程度受到一定的抑制，同样也不利于支持较多的物种。蚂蝗沟林区位于中度海拔，正在进行人工恢复，虽然植被类型多样，森林覆盖率较高，但几乎均为人工次生林，同样不利于地表甲虫分布，但均匀度较高；而且从蜂桶寨保护区的地带性植被类型替代看，蚂蝗沟的海拔高度主要处于阔叶混交林和竹林植被地带（图 1），所以虽然生态恢复的林型为云杉和油松等人工针叶林，但由于生态演替时间较短，环境变化尚无法彻底改变地表甲虫的物种组成特点，因此蚂蝗沟与蜂桶寨虽然植被类型差异较大，但两地点地表甲虫物种组成的相似性程度较高。这一结果与中欧步甲类群研究很相似，管理过的云杉次生林与天然的阔叶混交林间的步甲类群物种组成很相似（Magura *et al*., 2000）。

比较蜂桶寨和锅巴岩两个邻近的天然森林植被地点，可以看出，随着海拔的升高，整个鞘翅目及优势甲虫类群种类和数量逐渐升高。这与以往的研究有较大差异，海拔对物种种类分布的影响一般是单峰曲线，主要由温度和生产率两个因素所决定，中度海拔的峰值最高（Rosenzweig，1995）。从本研究的结果看，个体数量基本与海拔呈线性回归关系，但除了拟步甲外，其他类群及鞘翅目的峰值都出现在中高海拔（3 080 m），并不在最高海拔处，在此之前呈线性递增，但在此之后开始下降，是典型的单峰形式；而且物种的种类与海拔之间只有鞘翅目和象甲科完全呈线性回归的关系，其他类群的变化呈不规则的曲线变化形式，也是在接近中高海拔处达到峰值。

此外，在本研究中，海拔对物种种类和数量分布的影响与植被类型密切相关。海拔在较大尺度上决定了植被类型的地带性分布，在我们所研究地区，植被类型基本上以阔叶混交林、竹林、针叶林和高山灌丛的形式沿海拔梯度进行更替。从蜂桶寨看，由于交通因素的限制，所选择的海拔梯度较小，仅有 400 m，植被类型较单一，为阔叶混交林一种植被类型。相对来说，锅巴岩选择的海拔梯度较大，包含了多种植被类型，并表现出地带性更替的趋势。在讨论生境影响时，可以看出该地区甲虫类群及步甲科、拟步甲科及隐翅虫科等优势类群倾向分布于高海拔的针叶林和高山灌丛内。所以植被类型对甲虫分布的影响也可以认为是海拔在较大尺度下作用的体现。

从以上结果与分析可以看出，蜂桶寨保护区地表甲虫的物种组成和数量变化反映了我国亚热带地区昆虫区系组成和数量分布特点；物种多样性受到森林片段化、海拔高度、植被类型以及坡向等多种因素的影响。因此，采取合理保护措施、进行生态恢复的同时，增加植被和生境类型的多样化和异质性，是提高该地区地表甲虫物种多样性的重要手段。此外，锅巴岩地区进行人工开矿活动已经明显地破坏和缩小了地表甲虫的分布空间，而该地区却是保护区内地表甲虫种类和数量最丰富的区域，所以如果开矿活动继续进行，将对整个保护区的物种多样性产生严重的危害。

致谢　本研究的野外工作得到四川省蜂桶寨国家自然保护区的大力协助，特此表示感谢。

参　考　文　献 （References）

Baars M A, 1979. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia*, 41: 25 - 46.

Brues C T, Melander A L, Carpenter F M, 1954. Classification of Insects. Keys to the living and extinct families of insects, and to the living families of other terrestrial arthropods. *Bull*. *Mus*. *Comp*. *Zool*. *Harv*., 108: 1 - 917.

Davies K, Margules C R, 1998. Effects of habitat fragmentation on carabid beetles: experimental evidence. *J*. *Anim*. *Ecol*., 67: 460 - 471.

Didham R K, Ghazoul J, Stork N E, Davis A J, 1996. Insects in fragmented forests: a functional approach. *TREE*, 11: 255 - 260.

Duchesne L C, Lautenschlager R A, Bell F W, 1999. Effects of clear-cutting and plant competition control methods on carabid (Coleoptera: Carabidae) assemblages in Northwestern Ontario. *Environ*. *Monit*. *Assess*., 56: 87 - 96.

Freude H, Harde K W, Lohse G, 1964. Die Kaefer Mitteleuropas (Bd. 2 - 12). Krefeld: Goecke and Evers.

Imura, Y, Su Zh-H, Osawa S, 1998. Some Cychrine species (Coleoptera: Carabidae) from Central Sichuan, China: Descriptions of two species

and evolutionary consideration. *Elytra*, 26 (1): 9 - 16.

Kareiva P, 1987. Habitat fragmentation and the stability of predator-prey interactions. *Nature*, 326: 388 - 390.

Kinnunen H, Järvelä inen K, Pakkala T, Tiainen J, 1996. The effect of isolation on the occurrence of farmland carabids in a fragmented landscape. *Ann. Zool. Fennici*, 33: 165 - 171.

Klein B C, 1989. Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology*, 70: 1 715 - 1 725.

Laurance W F, 1994. Rainforest fragmentation and the structure of small mammal communities in tropical Queensland. *Biol. Conserv.*, 69: 23 - 32.

Laurance W F, Ferreira L V, Merona J M R, Laurance S G, 1998. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology*, 79: 2 032 - 2 040.

Lautenschlager R A, 1993, Response of wildlife to forest herbicide applications in northern coniferous ecosystems. *Can. J. For. Res.*, 23: 2 286 - 2 299.

Ma K P, Liu Y M, 1994. Measurement of biotic community diversity I: α diversity (Part 2). *Chin. Biodivers.*, 2 (4): 231 - 239. [马克平, 刘玉明, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法 (下). 生物多样性, 2 (4): 231 - 239]

Magura T, Tóthmérész B, Bordán Zs, 2000. Effects of nature management practice on carabid assemblages (Coleoptera: Carabidae) in a non-native plantation. *Biol. Conserv.*, 93: 95 - 102.

Martin J E H, 1978. The Insects and Arachnids of Canada (Part 1: Collecting, preparing and preserving insects, mites, and spiders). Hull: Supply and Services Canada. 1 - 182.

Mühlenberg M, 1989. Freilandoekologie. Heidelberg: Quelle and Meyer Verlag. 1 - 430.

Murrell D J, Law R, 2000. Beetles in fragmented woodlands: a formal framework for dynamics of movement in ecological landscapes. *J. Anim. Ecol.*, 69: 471 - 483.

Pielou E C, 1984. The Interpretation of Ecological Data: A Primer on Classification and Ordination. New York: John Wiley and Sons. 1 - 288.

Quinn J F, Harrison S P, 1988. Effects of habitat fragmentation and isolation on species richness: evidence from biogeographic patterns. *Oecologia*, 75: 132 - 140.

Rosenzweig M L, 1995. Species Diversity in Space and Time. Cambridge: Cambridge University Press. 1 - 436.

Staddon W J, Duchesne L C, Trevors J T, 1996. Conservation of forest soil microbial diversity: the impact of fire and research needs. *Env. Rev.*, 4: 267 - 275.

SPSS Inc, 1997. SPSS Base 7.5 for Windows User's Guide. Chicago: SPSS Inc.

Thomas C F G, Parkinson L, Marshall E J P, 1998. Isolating the components of activity-density for the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in farmland. *Oecologia*, 116: 103 - 112.

Yin W Y, 1992. Subtropical Soil Animals of China. Beijing: Science Press. 1 - 618. [尹文英, 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社. 1 - 618]

Yin W Y, 1998. Pictorical Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press. 1 - 756. [尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社. 1 - 756]

Yu X D, Luo T H, Zhou H Z, 2002. Composition and seasonal dynamics of litter-layer beetle community in the Dongling Mountain region, North China. *Acta Entomol. Sin.*, 45 (6): 785 - 793. [于晓东, 罗天宏, 周红章, 2002. 东灵山地区地表甲虫群落组成及季节变化. 昆虫学报, 45 (6): 785 - 793]

Yu X D, Zhou H Z, Luo T H, 2001. Species diversity of litter-layer beetles in Northwest Yunnan Province, Southwest China. *Zool. Res.*, 22 (6): 454 - 460. [于晓东, 周红章, 罗天宏, 2001. 云南西北部地区地表甲虫物种多样性研究. 动物学研究, 22 (6): 454 - 460]

Zhou H Z, Yu X D, Luo T H, He J J, 2000a. How does species diversity change? Spatio-temporal patterns and scales. *Chin. Biodivers.*, 8 (3): 325 - 336. [周红章, 于晓东, 罗天宏, 何君舰, 2000a. 物种多样性变化格局与时空尺度. 生物多样性, 8 (3): 325 - 336]

Zhou H Z, Yu X D, Luo T H, He J J, Zhou H S, Ye C J, 2000b. Insect abundance and environmental effects in Shennongjia Nature Reserve, Hubei Province. *Chin. Biodivers.*, 8 (3): 262 - 270. [周红章, 于晓东, 罗天宏, 何君舰, 周海生, 叶婵娟, 2000b. 湖北神农架自然保护区昆虫的数量变化与环境关系的初步研究. 生物多样性, 8 (3): 262 - 270]